

ラットにおける強化系列の習得と消去に及ぼす項目配列の効果

著者	谷内 通
雑誌名	心理学研究
巻	68
号	4
ページ	255-263
発行年	1997-10-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/6675

ラットにおける強化系列の習得と消去に及ぼす 項目配列の効果

金沢大学 谷内通

Effects of item-arrangement on serial pattern learning and extinction in rats

Tohru Taniuchi (Graduate School of Socio-Environmental Studies, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-11)

Two experiments using rats as subjects examined effects of item-arrangement on acquisition and extinction in serial learning. In Experiment 1, Group A received series of 16-0-16 and 1-0-1 food pellets in a runway, while Group D received 1-0-16 and 16-0-1 series. Both groups manifested a remote anticipation of the third item on Run 2, and current anticipation of the third item on Run 3. In extinction phase, resistance was greater in Group D than Group A. These results indicate that the first item signaled not only the second item, but also the third item. In Experiment 2, two of the four groups were trained with either of the following monotonic series: 0-16-0-8-0-4-0-2-0-1 (Group M16) or 0-1-0-2-0-4-0-8-0-16 (Group M1), while the other two groups were given one of the following nonmonotonic series: 0-16-0-2-0-4-0-8-0-1 (Group NM16) or 0-1-0-8-0-4-0-2-0-16 (Group NM1). In extinction phase, Group M16 showed the least resistance. These results are discussed mainly on the basis of remote association view and structural complexity theory of serial learning.

Key words: rats, serial learning, associative learning, rule learning, runway.

直線走路を用いたラットの系列学習研究では、継起する走行に対して与える報酬量 (45 mg の餌ペレットの数) を項目として系列を構成する (e.g., 14-7-3-1-0: 数字はペレット数)。このとき、大報酬よりも小報酬、特に無報酬に対して遅く走行することが学習の指標とされる。しかし、どのような系列も等しく学習されるのではなく、項目配列は各項目に対する予期の正確さに大きく影響する (e.g., Hulse & Dorsky, 1977)。このように項目配列が項目予期に影響する機制については、法則符号化仮説 (e.g., Hulse, 1978; Hulse & Dorsky, 1977) と記憶弁別理論 (e.g., Capaldi & Molina, 1979) という二つの仮説が提起されている。

Hulse & Dorsky (1977) は、項目配列が 14-7-3-1-0 のいわゆる強単調系列と 14-5-5-1-0 の弱単調系列、および 14-1-3-7-0 の非単調系列を比較した結果、ラットは強単調系列の 0 ペレットに対して最も遅く走行する、すなわち 0 ペレットを正確に予期することを見いだした。彼らは、この結果を基に、ラットは法則構造を符号化および表象することによって系列を学習するため、単純な法則構造をもつ系列ほど速やかに学習されるとする法則符号化仮説を提起した。法則構造とは、隣接する項目間の増減関係を時系列に沿って表した際の規則性である。例えば、14-7-3-1-0 系列内の第 i 番目の項目と第 $i+1$ 番目の項目間の関係は $I[i]$

$> I[i+1]$ (I : 項目, i : 系列位置) という単一の法則によって記述できる。これに対し、弱単調系列や非単調系列の法則構造を記述するためには複数の法則が必要になる。このため、法則構造の符号化が最も容易である強単調系列において、0 ペレットが最も容易に予期されると説明される。

これに対し、Capaldi & Molina (1979) は 15-10-5-0 強単調系列よりも 14-14-2-0 弱単調系列において、0 ペレットが正確に予期されることを見いだした。彼らは、この結果に基づき、項目間連合の形成によって系列学習を説明する記憶弁別理論を提起した。記憶弁別理論によると、ある走行で生じた報酬量に関する記憶表象は次の走行で生じる報酬量を信号する弁別手がかり、すなわちシグナルとして機能する。また、項目予期の正確さは、その項目のシグナルに対して生じる他のシグナルからの刺激般化に依存する。例えば、15-10-5-0 強単調系列では、15 ペレットについての記憶表象である S^{15} というシグナルが 10 ペレットを信号する ($S^{15} \rightarrow 10$) ほかに、 $S^{10} (S^{10} \rightarrow 5)$ 、および $S^5 (S^5 \rightarrow 0)$ といったシグナルが生起する。14-14-2-0 弱単調系列では $S^{14} \rightarrow 14$, $S^{14} \rightarrow 2$ 、および $S^2 \rightarrow 0$ といった項目間連合が形成される。強単調系列の S^5 と弱単調系列の S^2 は 0 ペレットのシグナルであるが、これらに対しては他のシグナルから報酬信号強度の刺激般化が生じる。この刺激般化の大きさはシグナル間の類似

性によって決定される。強単調系列の S^5 と S^{15} や S^{10} との間の類似性は、弱単調系列の S^2 と S^{14} との間の類似性よりも高い。このため、強単調系列では大報酬を信号する S^{15} や S^{10} から S^5 へ刺激般化が生じる傾向は強いが、弱単調系列の S^2 に対して生じる S^{14} ($S^{14} \rightarrow 14$)からの般化傾向は比較的弱いと期待される。その結果、0ペレットに対する走行は、15-10-5-0系列よりも14-14-2-0系列において遅くなると説明される。

法則符号化仮説や記憶弁別理論は系列の習得に関する仮説であった。水原(1993)はこれらの仮説を消去過程に適用し、項目配列が消去抵抗に影響することを見いだした。彼は、14-7-3-1-0単調系列よりも14-1-3-7-0非単調系列習得後の消去抵抗が高い傾向にあること(実験1)、報酬項目間に0ペレットを挿入した14-0-7-0-3-0-1-0単一交替単調系列と14-0-1-0-3-0-7-0単一交替非単調系列では、非単調系列習得後の消去抵抗が高いこと(実験2)を報告している。

水原(1993)は、14-0-7-0-3-0-1-0系列の習得時に観察された報酬量予期は、報酬項目同士が隣接していないので、項目間連合の形成からは説明不可能であるとした。また、単一交替系列間で観察された消去抵抗の差異についても、各シグナルが獲得すると期待される報酬信号強度が系列間で等しくなるので、項目間連合の形成からは説明不可能であるとされた。代わりに、水原(1993)は、ラットは法則学習により系列を習得し、系列の法則構造が単純であるほど強化刺激の変化に対する構えを形成しやすいため、習得から消去への移行の弁別が容易になり、消去抵抗が低くなるとする仮説を提起した。なお、本研究では、この水原(1993)の仮説を法則弁別仮説と呼ぶ。

水原(1993)の理解は、項目間連合は隣接した項目の間にのみ形成されるという前提に基づいたものである。しかし、この前提に反して、項目間連合は隣接する項目間だけでなく、遠隔した項目間にも形成されることが報告されている(Capaldi & Miller, 1988; Capaldi, Nawrocki, & Verry, 1983; Capaldi & Verry, 1981)。例えば、同じラットにX-0-Y系列とZ-0-0系列(X, Y, およびZは質的に異なる報酬を表す)という2種類の系列を与えると、第2項目および第3項目に対する走行は前者よりも後者の系列において遅くなる(Capaldi & Miller, 1988)。第2項目は両系列ともに0ペレットであるので、第2項目は第3項目の有効なシグナルにはなりえない。従って、第3項目は、第1項目の記憶(S^X , S^Z)を第2項目の記憶(S^0)と結合した複合記憶を手がかりとして予期されたと考えられる($S^{X+0} \rightarrow Y$, $S^{Z+0} \rightarrow 0$)。また、両系列の第2項目は等しく0ペレットである。従って、第2項目に対する走行がZ-0-0系列よりもX-0-Y系列において速くなるという結果は、第1項目の記憶(S^X , S^Z)が複合記憶($S^{X+0} \rightarrow Y$, $S^{Z+0} \rightarrow 0$)からの刺激般化を通じ

て第3項目を信号する傾向を獲得する(Capaldi & Verry, 1981)のために、第2走行において第3項目の遠隔予期が生じたことを示している。これらの結果は、第1項目が、隣接する第2項目のシグナルだけでなく、遠隔した第3項目のシグナルの一部にもなりうることを実証するものである。このような遠隔した項目間の連合は遠隔連合(remote association)と呼ばれる。なお、本研究では、遠隔連合と区別するために、隣接する項目間の連合を隣接連合と呼ぶ。

水原(1993)の研究で得られた習得時の走行パターンや消去抵抗に関する結果は、法則弁別仮説よりも、隣接連合に加えて遠隔連合を仮定した記憶弁別理論によって統一的に説明されるように思われる。例えば、水原(1993, 実験2)では、14-0-1-0-3-0-7-0単一交替非単調系列における0ペレットに対する走行は、先行する報酬項目が大報酬の場合に遅く、小報酬の場合に速い。これとは逆に、14-0-7-0-3-0-1-0単一交替単調系列における0ペレットに対する走行は、先行する項目が大報酬の場合に速く、小報酬の場合に遅くなっている。法則符号化仮説では単一交替系列における0ペレット予期を“交替”法則の学習によって説明するので、単一交替単調系列と単一交替非単調系列の間で0ペレットは等しく予期されると予測する。このため、法則符号化仮説は、0ペレット間の走行速度の分化の仕方が両系列において異なるという結果については説明できない。

これに対し、遠隔連合を仮定した記憶弁別理論は、0ペレット間の走行速度の分化の仕方が交替系列間で異なることを次のように説明する。まず、14-0-7-0-3-0-1-0系列と14-0-1-0-3-0-7-0系列の0ペレットは、 S^{14} , S^7 , S^3 , および S^1 をシグナルとした隣接連合に基づいて信号される($S^{14} \rightarrow 0$, $S^7 \rightarrow 0$, $S^3 \rightarrow 0$, $S^1 \rightarrow 0$)。また、両系列における S^0 は、隣接連合を通じて、報酬項目を信号する($S^0 \rightarrow 7$, $S^0 \rightarrow 3$, $S^0 \rightarrow 1$)。このため、 S^0 から S^{14} , S^7 , S^3 , および S^1 へは報酬信号傾向が般化することになるが、この傾向は S^0 との類似性が最も高い S^1 において最も強く、 S^0 との類似性が最も低い S^{14} において最も弱いと考えられる。よって、両系列における0ペレットに対する走行は、先行する項目の報酬量が小さいほど速くなる傾向があると考えられる。しかし、0ペレットに後続する報酬項目はさまざまであるので、 S^0 は後続の報酬項目の具体的な報酬量を弁別するためのシグナルとしては有効ではない。このため、0ペレットに後続する報酬項目は直前の0ペレットの記憶とその前の報酬項目の記憶を結合した複合記憶をシグナルとして信号されると考えられる。このとき、 S^{14} , S^7 , S^3 , および S^1 等の単一記憶は、それぞれ S^{14+0} , S^{7+0} , S^{3+0} , または S^{1+0} といった複合記憶からの刺激般化を通じて報酬信号傾向を獲得するので、大報酬を信号する複合記憶から刺激般化を受ける

単一記憶に続く0ペレットに対する走行ほど速くなると期待される。

ここで、14-0-7-0-3-0-1-0系列における、 S^{14} 、 S^7 、 S^3 、および S^1 では、隣接連合によって報酬項目を信号する S^0 と類似性の低いシグナルほど、複合記憶からの刺激般化を通じて大報酬を信号している。例えば、14ペレットに後続する0ペレットに対する走行では、0ペレットを信号する $S^{14}(S^{14} \rightarrow 0)$ が S^0 から刺激般化を受ける傾向は弱い、 $S^{14+0}(S^{14+0} \rightarrow 7)$ という比較的大報酬を信号する複合記憶から刺激般化を受けるために、比較的速い走行が生じる傾向がある。また、3ペレットに後続する0ペレットに対する走行では、 $S^3(S^3 \rightarrow 0)$ が S^0 から刺激般化を受ける傾向は強い、 $S^{3+0}(S^{3+0} \rightarrow 1)$ という小報酬を信号する複合記憶から刺激般化を受けるために、比較的遅い走行が生じる傾向があると考えられる。これに対し、14-1-3-7-0系列では走行速度の分化が示されない(e.g., 水原, 1993, 実験1)ことから、この系列の報酬項目間に0ペレットを挿入した14-0-1-0-3-0-7-0系列においてもさまざまな報酬項目を信号する複合記憶間で刺激般化が生じるために、0ペレットに対する走行に及ぼす後続項目の報酬量の効果は比較的小さいと考えられる。その結果、0ペレットに対する走行は、主に、先行する報酬項目の記憶と S^0 の類似性によって規定され、報酬項目を信号する0ペレットとの類似性の高い3ペレットや1ペレットに後続する0ペレットに対して速い走行が生じる傾向があると説明される。

遠隔連合を仮定すると、水原(1993)の消去に関する結果もまた項目間連合の枠組み内で説明可能であるように思われる。水原(1993)も認めているように、14-7-3-1-0単調系列よりも14-1-3-7-0非単調系列の習得後の消去抵抗が高くなることは、刺激残効理論の刺激特殊性に関する仮説(Capaldi, 1967)から説明可能である。すなわち、消去段階で生じる S^0 と類似する S^1 は、習得時に14-7-3-1-0単調系列では0ペレットを信号し、14-1-3-7-0非単調系列では3ペレットを信号していた。また、 S^1 に次いで S^0 と類似する S^3 は単調系列では1ペレットを信号し、非単調系列では7ペレットを信号していた。このように、消去段階で生じる S^0 と類似する S^1 や S^3 が獲得する報酬信号強度が、単調系列よりも非単調系列において大きいために、前者よりも後者の系列の習得後の消去抵抗が高くなると説明される。遠隔連合を仮定すると交替系列にも同じ原理が適用できる。14-0-7-0-3-0-1-0単調系列と14-0-1-0-3-0-7-0非単調系列では、隣接連合を通じて各シグナルが獲得する報酬信号強度は等しいと考えられる。しかし、隣接連合に加えて遠隔連合を仮定すると、 S^{1+0} は、単調系列では信号の対象となる項目をもたないが、非単調系列では3ペレットを信号する。また、 S^{3+0} は、単調系列では1ペレット、非単調

系列では7ペレットを信号する。従って、消去時に生じる S^0 と類似した S^1 や S^3 が複合記憶からの刺激般化を通じて獲得する報酬信号強度は、単調系列よりも非単調系列において大きくなると期待される。その結果、報酬項目間に0ペレット項目を挿入した場合にも、単調系列よりも非単調系列の消去抵抗が高くなると説明される。

このように、水原(1993)の法則弁別仮説の根拠となった交替系列の習得および消去の結果については、隣接連合に加えて遠隔連合を仮定することにより、項目間連合の枠組み内で説明可能であると思われる。そこで本研究においては、ラットの強化系列学習における遠隔連合の形成と消去への関与を検討する(実験1)とともに、単一交替系列の習得後の消去について遠隔連合を仮定した記憶弁別理論と法則弁別仮説を比較する(実験2)ことを企図した。

実験 1

水原(1993)の単一交替系列における0ペレットに対する走行パターンを遠隔連合によって説明するためには、0ペレットに対する走行が、これに先行する報酬項目と後続する報酬項目のそれぞれの報酬量に影響されることを明らかにする必要がある。このうち、後続する報酬項目の報酬量が大きいほど0ペレットに対する走行が速くなることはすでに実証されている(e.g., Capaldi & Miller, 1988)。しかし、先行する報酬項目の報酬量が0ペレットに対する走行に与える効果については、単一交替系列の場合のように、0ペレットに常に報酬項目が先行・後続するような事態においては検討されていない。また、遠隔した項目間の信号関係が消去抵抗に与える効果についても検討されていない。そこで、実験1では、16-0-16と1-0-1という2系列を与えるA(agreement)群と1-0-16と16-0-1という2系列を与えるD(disagreement)群の習得と消去を吟味することによって、これらの $R[1]-N[2]-R[3]$ 系列(R:報酬項目, N:無報酬項目)では、(1)0ペレットに対する走行は、 $R[3]$ を信号する $S^{N[2]}(S^{N[2]} \rightarrow R[3])$ から $N[2]$ を信号する $S^{R[1]}(S^{R[1]} \rightarrow N[2])$ に対して刺激般化が生じるために、0ペレットに先行する項目が小報酬であるほど速くなるという仮説と、(2)遠隔した項目間で、小報酬が小報酬を信号する場合よりも小報酬が大報酬を信号する場合に消去抵抗が高くなるという仮説とを検証することとした。

まず、隣接連合だけを仮定した場合には、両群において形成される項目間連合は等しいと期待される($S^{16} \rightarrow 0, S^1 \rightarrow 0, S^0 \rightarrow 16, S^0 \rightarrow 1$)。 S^0 からの般化傾向は S^{16} よりも S^1 において大きい。従って、第2項目の0ペレットに対する走行は、第1項目が16ペレットよりも1ペレットの場合に速くなるが、この傾向は群間で等しいと予測される($1-0-1=1-0-16>16-0-16=$

16-0-1)。また、第3項目の16ペレットと1ペレットのシグナルはともに S^0 であるので、第3走行における走行速度の分化は両群において認められないと予測される。消去については、各シグナルが獲得する報酬信号強度は両群間で等しいと期待されるため、両群の消去抵抗に差が認められるとは予測されない。

これに対し、隣接連合と遠隔連合の両者を仮定すると次のように予測される。まず、上記のように、 $S^{16} \rightarrow 0$ よりも $S^1 \rightarrow 0$ の方が $S^0 \rightarrow 16$ や $S^0 \rightarrow 1$ から刺激般化を受ける傾向が大きいと期待されるので、0ペレットに対する走行は、第1項目が16ペレットの系列よりも1ペレットの系列において速くなる傾向があると予測される。また、0ペレットに対する走行では、第3項目の遠隔予期が生じるために第3項目が1ペレットの系列よりも16ペレットの系列において速くなる傾向があると予測される。さらに、これらの予測を組み合わせると、0ペレットに対する走行は、これに走行する報酬量が最小で、後続する報酬量が最大の1-0-16系列において最も速くなり、先行する報酬量が最大で、後続する報酬量が最小の16-0-1系列において最も遅くなると予測される。すなわち、0ペレットに対する走行速度の系列間の分化は、A群よりもD群において大きくなると予測される。消去については、上述のように、隣接連合によって各シグナルが獲得する報酬信号強度は群間で等しいと期待される。しかし、消去時に生じる S^0 と類似する S^1 へ刺激般化を及ぼす複合記憶 S^{1+0} は、A群では1ペレットという小報酬を信号するが、D群では16ペレットという大報酬を信号する。従って、消去抵抗はA群よりもD群において高くなると予測される。

方法

被験体 日本チャールズ・リバー社から購入した実験経験のないSprague Dawley系の雄ラット12匹を用いた。被験体は、実験開始時に約75日齢であった。

装置 全長152 cm、幅10 cm、高さ11 cmの廊下式直線走路を用いた。走路は30 cmの出発箱、92 cmの走路、30 cmの目標箱からなり、出発箱と目標箱はギロチンドアによって走路部分と仕切られていた。目標箱の末端には、直径5 cmの餌皿を設置した。餌皿の手前17 cmのところに光電管を設置し、出発箱のギロチンドアを引き上げてから、ラットが光電をさえるまでの時間を1/100秒単位で測定した。報酬には45 mgの餌ペレットを用いた。

手続き 本訓練に先だち10日間の予備訓練を行った。この期間に食餌制限によってラットの体重を自由摂食時の $80 \pm 2\%$ に減量し、この体重を実験が終了するまで維持した。1-7日目までは毎日1分間のハンドリングを与えた。8日目と9日目には装置内の自由探索を個別に10分間与えた。このとき、目標箱の床

に置いた10粒の餌ペレットを食べさせた。10日目にはギロチンドアを閉めた目標箱内で餌皿から10粒の餌ペレットを食べさせた。

予備訓練終了の翌日から28日間の習得訓練を行った。ラットを無作為に2群に振り分けた($n=6$)。A群には1-0-1系列(X系列)と16-0-16系列(Y系列)、D群には16-0-1(X系列)系列と1-0-16系列(Y系列)を1日に2回ずつ与えた。各群の半数のラットには、奇数日にXYXX、偶数日にYXXYの順で系列を提示し、残りの半数のラットには訓練日への系列提示順序の割付けを逆にした。両群ともに走行間隔は15-20秒間、系列間間隔は10-20分間であった。

ラットを出発箱に入れ、約3秒後にギロチンドアを引き上げた。ラットが目標箱に達すると目標箱側のドアを降ろした。報酬項目の場合、ラットが餌ペレットを食べつくすと拘留用ケージに移し、走行間隔の経過後に次の走行を開始した。0ペレットの場合は目標箱に20秒間留めた後に取り出した。ラットが30秒以内に目標箱に達しない場合は、実験者が目標箱に入れた。この場合の走行時間は30秒とした。系列の最後の走行が終了するとラットを待機用ケージに移し、系列間間隔の経過後に次の系列の提示を開始した。

習得訓練終了の翌日から4日間の消去訓練を行った。消去訓練ではすべてのラットに0-0-0系列を1日に4回与えた。その他の手続きは習得訓練と同じであった。

結果

Figure 1は両群の各項目に対する走行速度を2日ブロックで示している。群(2)×系列(2)×走行(3)×日ブロック(14)の分散分析を施した結果、群×系列×走行×日ブロックの交互作用が有意であった($F[26, 260]=1.64, p<.05$)。走行ごとに群×系列×日ブロックの単純交互作用を吟味したところ、第2走行においてのみ有意であった($F[13, 390]=2.90, p<.01$)。第2走行の日ブロックごとに群×系列の単純・単純交互作用を吟味したところ第10、第12、および第14ブロックにおいて有意であった($F_s[1, 420]=4.02, 7.78, 13.57, p<.05$; 第10ブロック, $p_s<.01$; 第12・14ブロック)。これらの交互作用について群および系列の単純・単純・単純主効果を吟味したところ、いずれのブロックについても各系列における群の主効果は有意ではなかった。しかし、各群における系列の主効果については、D群ではこの3ブロックすべてにおいて系列の主効果が有意である($F_s[1, 420]=49.12, 36.51, 50.36, p_s<.01$)のに対し、A群における系列の主効果は第10ブロック($F[1, 420]=17.43, p<.01$)および第12ブロック($F[1, 420]=4.40, p<.05$)では有意であるが、第14ブロック($F[1, 420]=3.56$)では有

意ではなかった。これらの結果は、習得訓練の最終段階における0ペレットに対する走行の系列間の分化が、A群よりもD群において大きかったことを示している。また、第3走行については系列×日ブロックの単純交互作用が有意であった ($F[1, 390]=3.12, p<.01$)。各日ブロックにおける系列の単純・単純主効果を吟味したところ、第9, 10, 11, 12, 13, および14ブロックにおいて16ペレットよりも1ペレットに対する走行が有意に遅かった ($F_s[1, 400]=8.99, 7.99, 6.27, 12.65, 11.91, 18.36, p_s<.01$, 第10ブロックについてのみ $p<.05$)。

Figure 2は消去訓練における両群の遂行を示している。群(2)×項目(3)×日(4)の分散分析を施したところ、群 ($F[1, 10]=6.52, p<.05$)、項目 ($F[2, 20]=11.56, p<.01$)、日 ($F[3, 30]=18.18, p<.01$) の主効果、および項目×日の交互作用 ($F[6, 60]=2.90, p<.05$) が有意であった。群の主効果が有意であり、消去抵抗はA群よりもD群において高いことが示された。

考察

習得段階における第2走行の走行速度は、第3項目が1ペレットである1-0-1系列や16-0-1系列よりも、16ペレットである16-0-16系列や1-0-16系列において速いことが示された。また、第3走行において、両群ともに16ペレットよりも1ペレットに対して遅く走行した。これらの結果は、第2走行における第3項目の遠隔予期や第3走行における第3項目の当該予期

が生じることを示した Capaldi & Miller (1988) の結果を再確認するものである。また、第2走行の0ペレットに対する走行速度の系列間の分化はA群よりもD群において大きいことが示された。この結果は、0ペレットに対する走行が、これに後続する項目の報酬量 (Capaldi & Miller, 1988) だけでなく、先行する項目の報酬量にも規定されるとする本研究の仮説を支持

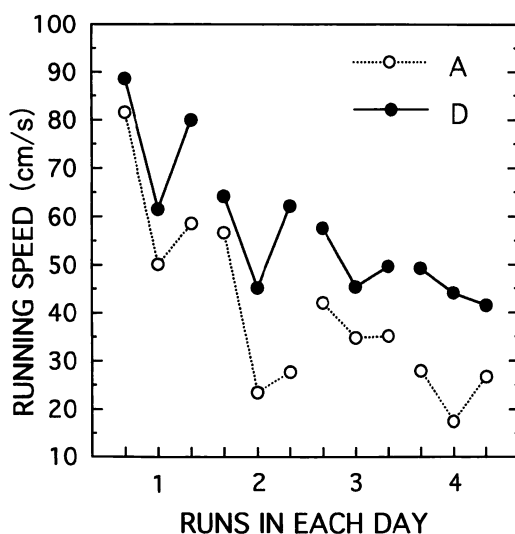


Figure 2. Running speeds for Groups A and D on each of three runs of the extinction series over the four days of extinction phase in Experiment 1.

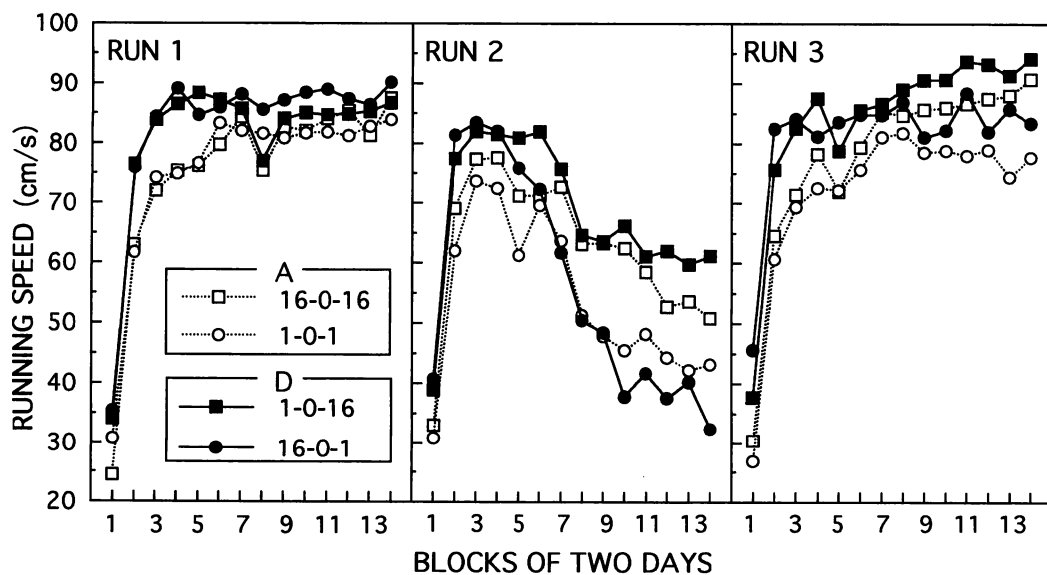


Figure 1. Running speeds for Groups A and D on each of their two different series on Run 1, Run 2, and Run 3 over fourteen blocks of two days during acquisition phase in Experiment 1.

するものである。

消去については、A群よりもD群の消去抵抗が有意に高かった。両群に与えた系列は隣接連合によって各シグナルが獲得すると期待される報酬信号強度は等しい。従って、両群間に認められた消去抵抗の差異を隣接連合のみに基づいて説明することはできない。しかし、隣接連合に加えて遠隔連合も仮定すると、消去抵抗は、消去時に生じる S^0 と類似する S^1 が、小報酬を信号する複合記憶($S^{1+0} \rightarrow 1$)から刺激般化を受けるA群よりも大報酬を信号する複合記憶($S^{1+0} \rightarrow 16$)から刺激般化を受けるD群において高くなることが予測された。従って、消去抵抗についての結果も、隣接連合に加えて遠隔連合を仮定する本研究の仮説を支持するものだといえる。

実験 2

水原(1993)の単一交替系列の習得と消去に関する結果を本研究の仮説によって説明するためには、0ペレットに対する走行がこれに先行する報酬項目と後続する報酬項目の両方に規定されること、および、遠隔した項目間で、小報酬が小報酬を信号する場合よりも、小報酬が大報酬を信号する場合に消去抵抗が高くなることが必要であった。実験1の習得および消去に関する結果は、一貫してこの仮説を支持するものであった。

そこで、実験2では、水原(1993)と同様の、項目数の多い系列の習得後の消去について、法則弁別仮説と遠隔連合仮説を比較する。M16群には0-16-0-8-0-4-0-2-0-1単調系列、M1群には0-1-0-2-0-4-0-8-0-16単調系列を与え、NM16群には0-16-0-2-0-4-0-8-0-1非単調系列、NM1群には0-1-0-8-0-4-0-2-0-16非単調系列を与える。これらの単一交替系列の習得後の消去抵抗に関しては、法則弁別仮説と遠隔連合仮説からは異なった予測が導かれる。まず、系列の法則構造はNM16・NM1非単調系列がM16・M1単調系列よりも複雑である。また、単調系列間および非単調系列間では、報酬項目間の増減関係が逆転しているだけで法則構造の複雑性は等しい。従って、法則弁別仮説からは、消去抵抗はNM16=NM1>M16=M1の順で高くなると予測される。これに対し、消去時に生じる S^0 と最も類似する S^1 に刺激般化を及ぼすと期待される複合記憶 S^{1+0} はNM1群では8ペレット、M1群では2ペレットを信号し、NM16群およびM16群では信号対象となる項目をもたない。また、 S^1 に次いで S^0 と類似する S^2 に刺激般化を及ぼすと期待される複合記憶 S^{2+0} はNM1群では16ペレット、M1群とNM16群では4ペレット、M16群では1ペレットを信号する。従って、遠隔連合仮説からは、消去抵抗はNM1>M1>NM16>M16の順で高くなると予測される。

方法

被験体 日本チャールズ・リバー社から購入したSprague Dawley系の雄ラット32匹を被験体として用いた。被験体の内の20匹はスキナー箱でレバー押しを形成された経験があり、実験開始時に130-160日齢であった。他の12匹のラットは跳躍台で弁別訓練を受けた経験があり、実験開始時に約180日齢であった。

装置 実験1と同じ走路を用いた。

手続き 実験1と同じ手続きの予備訓練を行った。

予備訓練終了の翌日から12日間の習得訓練を開始した。過去経験について各群の匹数が等しくなるという制限の下で、ラットを無作為に4群に振り分けた($n=8$)。M16群には0-16-0-8-0-4-0-2-0-1系列、M1群には0-1-0-2-0-4-0-8-0-16系列、NM16群には0-16-0-2-0-4-0-8-0-1系列、NM1群には0-1-0-8-0-4-0-2-0-16系列をそれぞれ1日に2回ずつ提示した。走行間隔は15-20秒間、系列間隔は25-30分間であった。その他の手続きは実験1と同じであった。

習得訓練終了の翌日から消去訓練を2日間行った。消去訓練では、すべての群に対して、10回の0ペレット走行からなる0-0-0-0-0-0-0-0-0-0系列を1日に2回与えた。その他の手続きは習得訓練と同じであった。

結果

Figure 3に習得訓練最終日における各群の平均走行速度を示した。群(4)×項目(10)の分散分析を施したところ、群×項目の交互作用が有意であった($F[27, 252]=5.51, p<.01$)。その交互作用について項目の単純主効果を吟味したところ、すべての群において有意であった($F_s[9, 252]=29.42$: M16, 39.48: NM16, 24.87: M1, 30.92: NM1, $p_s<.01$)。各群における項目の主効果についてNewman-Keuls検定を行った。その結果、単調系列を与えられたM16群とM1群では報酬項目間で走行速度の分化が認められ、M16群は1ペレットよりも16, 8, および4ペレットに対して速く、M1群は1ペレットよりも16, 8, 4, および2ペレットに対して速く走行した($p_s<.05$)。非単調系列を与えられたNM16群とNM1群ではいずれの報酬項目間にも走行速度に有意な差は認められなかった。0ペレットに対する走行速度は、NM16群では2ペレットよりも16・8・4ペレットに後続する場合に遅く、M1群では1・2ペレットよりも8・4ペレットに後続する場合に遅く、NM1群では1・2ペレットよりも16・8・4ペレットに後続する場合に遅く、1ペレットよりも2ペレットに後続する場合に遅かった($p_s<.05$)。M16群では、0ペレットに対する走行速度は、

16・2ペレットよりも8・4ペレットに後続する場合に遅かった ($ps < .05$)。

Figure 4 に消去訓練における各群の平均走行速度を示した。群(4)×過去経験(2)×項目(10)×日(2)の分散分析を施したところ、群の主効果 ($F[3, 24] = 1.68$)、および群×日の交互作用 ($F[3, 24] = 2.24$) は有意ではなかった。補足的な分析として、訓練日ごとに群(4)×過去経験(2)×項目(10)の分散分析を施したところ、群の主効果は、訓練1日目において有意であり ($F[3, 27] = 4.88, p < .01$)、訓練2日目では有意ではなかった ($F < 1$)。訓練1日目における群の主効果についての Newman-Keuls 検定では、NM16 群、M1

群、および NM1 群よりも M16 群の走行が有意に遅いことが示された ($ps < .05$)。NM16 群、M1 群、および NM1 群の走行速度の間に有意な差は認められなかった。なお、過去経験要因を含むすべての効果は有意ではなかった ($ps > .05$)。

考察

習得訓練における報酬項目間の走行速度の分化は、M16 群と M1 群では認められたが、NM16 群と NM1 群では認められなかった。この結果は、報酬項目間に0ペレットを挿入した系列においても、報酬項目の報酬量予期が非単調系列よりも単調系列において優れることを示した水原 (1993) の結果を再現するものである。

0ペレットに対する走行については、すべての群において1・2ペレットという小報酬に後続する場合に速いことが示された。この結果は、隣接連合の $S^0 \rightarrow R$ から $S^R \rightarrow 0$ に対して刺激般化が生じるために、0ペレットに対する走行は、全般に、先行する項目の報酬量が小さいほど速くなる傾向があるとする本研究の仮説と一致するように思われる。また、M16 群では、16ペレットに後続する0ペレットに対しても速い走行が見られた。この結果については、0-16-0-8-0-4-0-2-0-1 系列の16ペレットに後続する0ペレット走行では、隣接連合の $S^0 \rightarrow R$ から $S^{16} \rightarrow 0$ に対して刺激般化が生じる傾向は低いが、8ペレットの遠隔予期が生じるために、速い走行が生じると説明される。これらの結果は、報酬項目間に挿入された0ペレットに対する走行が法則構造よりも先行および後続の項目の報酬量に規定されることを示唆するものである。

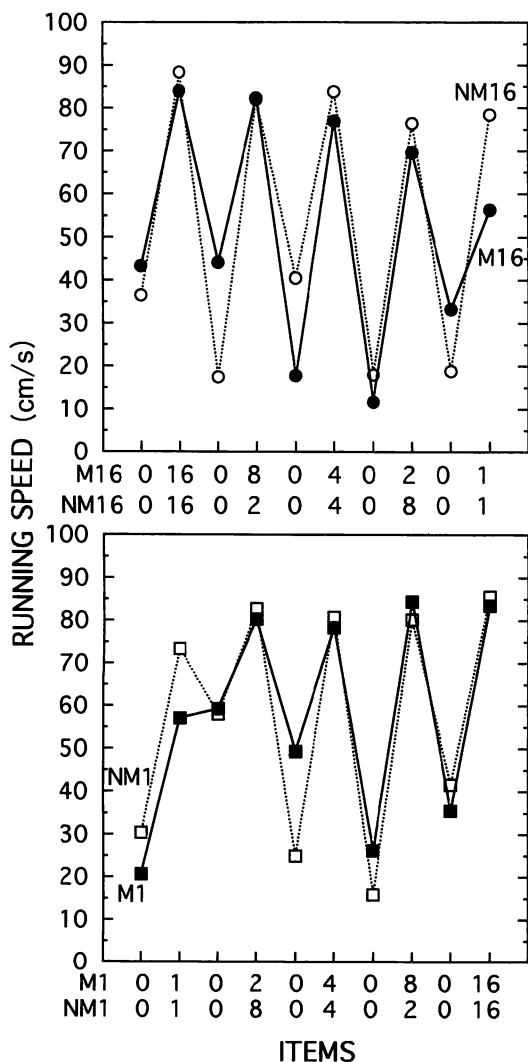


Figure 3. Running speeds for Groups M16 and NM16 (top panel) and for Groups M1 and NM1 (bottom panel) to items of their series on the last day of acquisition phase in Experiment 2.

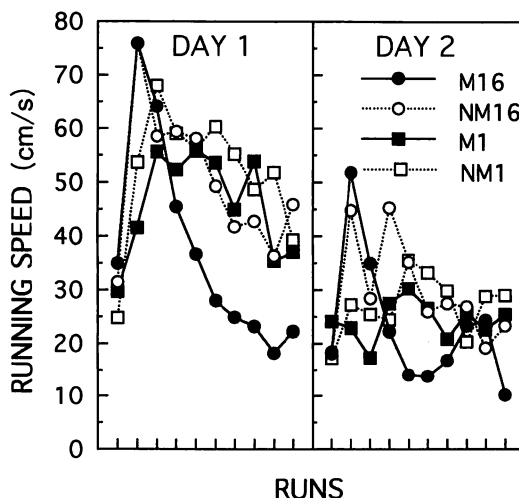


Figure 4. Running speeds for the four groups on each of the ten runs of extinction series over the two days of extinction phase in Experiment 2.

また、消去訓練の1日目では、消去抵抗はM16群よりもNM1群、M1群およびNM16群において高かった。この結果のうち、M16群よりもNM1群とNM16群の消去抵抗が高くなることは法則弁別仮説と遠隔連合仮説の両者が予測する。しかし、法則弁別仮説は、法則構造の複雑性について等しいM1群とM16群の間で消去抵抗に差が認められたという結果を説明できない。これに対し、隣接連合に加えて遠隔連合の形成を仮定する本研究の仮説からは、消去時に生起する S^0 と類似する S^1 や S^2 が、M16群よりもM1群において比較的に大報酬を信号する複合記憶から刺激般化を受けるので、消去抵抗はM16群よりもM1群において高くなると予測された。従って、消去抵抗がM16群よりもNM1群、M1群およびNM16群において高かったという結果に関しては、法則弁別仮説よりも遠隔連合仮説を支持するものだと見える。

全体的考察

本研究は単一交替系列の習得における遠隔連合の形成とその消去への関与を明らかにすることを目的とした。

実験1では、R-N-R系列において第3項目の報酬量予期が示された。この結果は、水原(1993)や本研究の実験2で使用されたような交替系列における報酬項目間の走行速度の分化が遠隔連合の形成に媒介されうることを実証しており、強化系列の報酬項目間に0ペレットを挿入しただけでは項目間連合が形成される可能性を排除できないことを示している。また、0ペレットに対する走行は、この項目に後続する報酬項目が大報酬であるほど速くなるとともに、先行する報酬項目が小報酬であるほど速くなることが示された。この結果は、水原(1993, 実験2)の結果のうち、単一交替単調系列と単一交替非単調系列では0ペレットに対する走行パターンが異なるという法則構造の学習からは説明困難な結果について、項目間連合による説明の根拠を提供するものである。

消去についても、実験1では、遠隔した項目間で小報酬が小報酬を信号する場合よりも小報酬が大報酬を信号する場合に消去抵抗が高くなることが示され、遠隔連合が消去抵抗を規定する要因になりうることが示された。また、実験2では、法則構造の複雑性について等しいM16群とM1群の消去抵抗に有意な差が認められた。この結果は、遠隔連合仮説の予測を支持するものであり、系列の法則構造の複雑性からは強化系列習得後の消去抵抗を一義的には予測できないことを実証している。

しかしながら、NM16群、M1群、およびNM1群の消去抵抗に有意な差が認められなかったという実験2の結果は、遠隔連合仮説の予測も十分に満足するものではなかった。このうち、NM16群とM1・NM1

群の消去抵抗に差が認められなかったという結果については、系列の開始を信号する分節化手がかりが獲得する報酬信号強度の差によって説明されるかもしれない。Capaldi, Verry, Nawrocki, & Miller (1984)は、習得時に大報酬を信号した分節化手がかりの除去によって消去抵抗が低下することを報告している。この結果は、分節化手がかりが獲得する報酬信号強度が消去抵抗に影響することを実証するものである。

本研究の実験2における分節化手がかりは、実験室への搬入と系列間間隔であると考えられる。分節化手がかりと第2項目との間に遠隔連合が形成されると仮定すると、分節化手がかりは遠隔連合を通じて、M16群とNM16群では16ペレットを信号し、M1群とNM1群では1ペレットを信号したと考えられる。ここで、分節化手がかりと第2項目との間に遠隔連合が形成された場合、第1項目の0ペレットに対する走行は、第2項目の遠隔予期が生じるために、第2項目が大報酬であるほど速くなると期待される。この仮説を検証するため、実験2の習得時の第1項目に対する走行速度について、第2項目の報酬量(16, 1ペレット)×日(1-12日目)の分散分析を施したところ、第2項目の報酬量の主効果が有意であり、第1項目の0ペレットに対する走行は、第2項目が1ペレットのM1・NM1群よりも16ペレットのM16群・NM16群において速かった($F[1, 28]=4.23, p<.05$)。これは、分節化手がかりが第1項目だけでなく第2項目をも信号したことを示唆する結果であり、消去段階における分節化手がかりの提示がM1・NM1群よりもM16・NM16群の消去抵抗を選択的に高めた可能性を残すものである。今後、分節化手がかりが獲得する報酬信号強度について統制した条件下でこれらの群間の消去を検討する必要があると思われる。

また、法則弁別仮説と遠隔連合仮説の両者がM1群よりもNM1群の消去抵抗が高くなることを予測するが、これらの群間では消去抵抗に有意な差は認められなかった。法則構造の複雑性や遠隔項目間の報酬信号強度をさらに顕著にした条件下でこれらの群を比較する必要がある。

本研究は、単一交替系列の習得における遠隔連合の形成とその消去への関与の可能性について検討した。しかしながら、このような試みは、ラットにおける法則符号化過程の存在そのものを否定しようとするものではない。ラットにおける強化系列の習得に関しては、系列の長さや法則構造の複雑性、または項目間の時間間隔等に依存して、法則符号化過程と項目連合過程の両者が関与するという見解が提起され(Hulse, 1980)、これを支持する証拠も報告されてきている(Fountain, Schenk, & Annau, 1985; 谷内, 1992)。本研究の実験1では、3項目系列の習得後の消去抵抗が、遠隔連合を含めた項目間連合の形成により説明さ

れることが示された。しかし、さらに項目数の多い系列を用いた実験2の消去については、遠隔連合仮説の予測が十分には支持されなかった点で、法則符号化過程の消去への関与の可能性を残している。今後、遠隔連合を含めた項目連合過程と法則符号化過程の性質を明らかにするとともに、各過程間の関係についても検討する必要がある。

引用文献

- Capaldi, E. J. 1967 A sequential hypothesis of instrumental learning. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation*. Vol. 1. New York: Academic Press. Pp. 67-156.
- Capaldi, E. J., & Miller, D. J. 1988 The rat's simultaneous anticipation of remote events and current events can be sustained by event memories alone. *Animal Learning & Behavior*, **16**, 1-7.
- Capaldi, E. J., & Molina, P. 1979 Element discriminability as a determinant of serial-pattern learning. *Animal Learning & Behavior*, **7**, 318-322.
- Capaldi, E. J., Nawrocki, T. M., & Verry, D. R. 1983 The nature of anticipation: An inter- and intraevent process. *Animal Learning & Behavior*, **11**, 193-198.
- Capaldi, E. J., & Verry, D. R. 1981 Serial order anticipation learning in rats: Memory for multiple hedonic events and their order. *Animal Learning & Behavior*, **9**, 441-453.
- Capaldi, E. J., Verry, D. R., Nawrocki, T. M., & Miller, D. J. 1984 Serial learning, interitem associations, phrasing cues, interference, overshadowing, chunking, memory, and extinction. *Animal Learning & Behavior*, **12**, 7-20.
- Fountain, S. B., Schenk, D. E., & Annau, Z. 1985 Serial-pattern-learning processes dissociated by trimethyltin exposure in rats. *Physiological Psychology*, **13**, 53-62.
- Hulse, S. H. 1978 Cognitive structure and serial pattern learning by animals. In S. H. Hulse, H. Fowler & W. K. Honig (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Pp. 311-240.
- Hulse, S. H. 1980 The case of the missing rule: Memory for reward vs. formal structure in serial pattern learning by rats. *Animal Learning & Behavior*, **8**, 689-690.
- Hulse, S. H., & Dorsky, N. P. 1977 Structural complexity as a determinant of serial pattern learning. *Learning and Motivation*, **8**, 488-506.
- 水原幸夫 1993 ラットの強化系列学習の習得と消去に及ぼす法則構造の効果 心理学研究, **64**, 107-114.
- 谷内 通 1992 ラットの系列パターン学習における走行間隔と系列移行の効果 動物心理学研究, **42**, 77-86.

— 1995. 12. 11 受稿, 1997. 3. 15 受理 —